

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**Katedra elektroenergetiky**

**Kompenzace jalové energie na rypadle KU800**

**Reactive Power Compensation on Excavator KU800**

2012

Kocourek Tomáš

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Kocourek**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: **Kompenzace jalové energie na rypadle KU800**  
**Reactive Power Compensation on Excavator KU 800**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor koncepce napájení průmyslových rozvodů
2. Specifika sítí povrchových dolů
3. Možnosti kompenzace rypadla KU800
4. Výběr optimální varianty
5. Technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Santarius, P.: Elektrické stanice a vedení, Skripta VŠB-TU Ostrava, 1990
2. Hodinka, M.: Přenos a rozvod elektrické energie, SNTL, 1989
3. Trojánek, Z.: Přechodné jevy v elektrizačních soustavách, SNTL 1987
4. Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku, SNTL, 1991
5. Normy, firemní literatura, předpisy a směrnice SD

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Jiří Gurecký**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

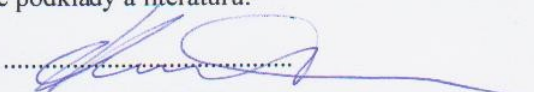
## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval doc. Dr. Ing. Jiřímu Gureckému za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat společnosti SD a.s., hlavně jejímu zástupci Ing. Vlastimilu Krausovi za podporu během celého studia na VŠB.

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením doc.Dr.Ing. Jiřího Gureckého a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....4.5.2012.....

.....  
podpis

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové (bakalářské) práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové (bakalářské) práci budou zveřejněny v informačním systému VŠBTUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě :.....

4.5. 2012

KOCOUŘEK TOMÁŠ

Plné jméno studenta



Adresa trvalého pobytu studenta :

DOKYČANOVÁ 3814/4  
CHOMUTOV  
43001

**Anotace :**

Předmětem bakalářské práce „Kompenzace jalové energie na rypadle KU800“ je náhrada stávajícího rotačního kompenzátoru za statické kompenzační zařízení. První část práce se zabývá teoretickým rozбором kompenzace a důvodům, proč kompenzovat. Druhá praktická část bude řešit konkrétní způsob výměny výše zmíněných kompenzačních zařízení.

**Klíčová slova:** jalový výkon; kompenzace účinníku; kompenzační kondenzátory;  
rotační synchronní kompenzátor;

**Abstract:**

The subject of the thesis, "Power factor correction on the excavator KU800" is the replacement of the existing rotary static compensator for compensating device. The first part deals with theoretical analysis of compensation and the reasons why the offset. The second part will address how to replace the concrete above the compensation device.

**Key words:** reactive power, power factor correction, power factor correction capacitors;  
rotating synchronous compensator;

## Seznam použitých symbolů a zkratek :

- DNT - Doly Nástup Tušimice
- SD - Severočeské doly a.s.
- TC - technologický celek
- PD - poháněcí dopravník
- AC - střídavé napětí
- DC, ss - stejnosměrné napětí
- DT - distribuční trafostanice DT
- IT - izolovaná soustava
- TN - nulovaná soustava
- VN - vysoké napětí
- NN - nízké napětí
- $U_N$  - jmenovité napětí
- $I_N$  - jmenovitý proud
- $I_b$  - budicí proud
- $U_b$  - budicí napětí
- IP - krytí izolace
- MKP - kondenzátory z metalizované polypropylénové fólie
- $SF_6$  - fluorid sírový
- ALL-FILM - technologie výroby VN kondenzátorů, kdy dielektrikum tvoří několik vrstev polypropylénové fólie a elektrody fólie hliníková
- PCB - Polychlorované bifenyle

# OBSAH

<b>1.</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2.</b>	<b>KOLESOVÉ RYPADLO KU 800/20.....</b>	<b>11</b>
2.1	POPIS.....	11
2.2	PARAMETRY KU800/20 .....	12
<b>3.</b>	<b>ELEKTROENERGETICKÁ ROZVODNÁ ZAŘÍZENÍ.....</b>	<b>14</b>
3.1	ELEKTRICKÁ VEDENÍ.....	14
3.1.1	Venkovní vedení.....	14
3.1.2	Kabelová vedení.....	14
3.2	ELEKTRICKÉ STANICE.....	14
3.3	TECHNOLOGICKÁ ZAŘÍZENÍ.....	16
3.3.1	Napěťové soustavy pro technologická zařízení.....	16
3.4	POPIS ZPŮSOBU NAPÁJENÍ KU 800/20 .....	17
3.4.1	Instalovaný výkon (asynchronní motory) na KU800/20.....	17
3.5	PROFIL SPOLEČNOSTI SD A.S.: .....	17
<b>4.</b>	<b>ZÁKLADY KOMPENZACE JALOVÉHO VÝKONU Q .....</b>	<b>19</b>
4.1	ZÁKLADNÍ INFORMACE .....	19
4.1.1	Spotřebiče jalového výkonu.....	21
4.2	ZPŮSOBY KOMPENZACE.....	22
4.2.1	Sériová kompenzace .....	22
4.2.2	Paralelní kompenzace .....	22
4.3	METODY KOMPENZACE.....	23
4.3.1	Individuální kompenzace.....	24
4.3.2	Skupinová kompenzace.....	25
4.3.3	Centrální kompenzace.....	25
4.3.4	Rozdělení kompenzačního zařízení dle způsobu spínání.....	26
4.4	PROSTŘEDKY KOMPENZACE.....	27
4.4.1	Kondenzátory NN.....	27
4.4.2	Kondenzátory VN.....	28
4.4.3	Rotační kompenzátory.....	29
4.4.4	Synchronní motory.....	29
<b>5.</b>	<b>SYNCHRONNÍ ROTAČNÍ KOMPENZÁTOR 1 HKY 5657/6.....</b>	<b>31</b>
5.1	POPIS.....	31
5.2	DŮVODY KE ZMĚNĚ .....	31



<b>6.</b>	<b>KOMPENZAČNÍ ROZVADĚČ .....</b>	<b>33</b>
6.1	POPIS.....	33
6.2	TECHNICKÉ PARAMETRY.....	33
6.3	SILOVÁ ČÁST.....	34
6.4	POMOCNÉ A REGULAČNÍ OBVODY .....	35
<b>7.</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>40</b>
	POUŽITÁ LITERATURA.....	41
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	42

## 1. Úvod

V úvodních stránkách této bakalářské práce jsem se snažil o stručný popis technických parametrů kolesového rypadla KU800/20 a jeho využití v povrchovém lomu. Jedna kapitola se věnuje rozvodným zařízením a způsobům napájení technologického celku v energetické soustavě dolů.

V další "teoretické" části se zabývám podrobnějším rozdělením způsobů a prostředků vlastní kompenzace a nutnosti regulace jalové energie.

V "praktické" části je obsažen vlastní způsob náhrady rotačního kompenzátoru za statické kompenzační zařízení a také je zde zahrnut popis technických parametrů těchto zařízení s popisem jejich funkcí.

## 2. Kolesové rypadlo KU 800/20

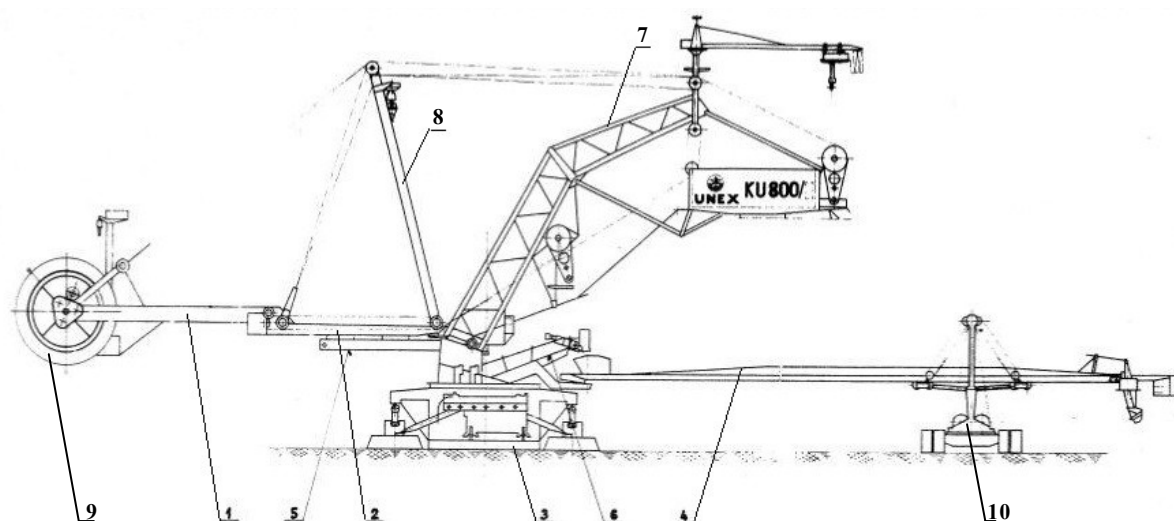
### 2.1 Popis

Tento velkostroj vyvinula počátkem 90-let minulého století firma Unex Uničov a od uvedení do provozu je nasazen na 3. skrývkovém řezu DNT. Rypadlo je začleněno do technologického celku s PD a zakladačem ZPDH 6300.

Kolesové rypadlo tohoto typu je převážně využito pro povrchové dobývání nadložních zemin, speciálně sedimentů uložených bezprostředně nad uhlernou slojí. V posledních letech, díky ekonomickým zájmům firmy SD a.s., se též podílí bezprostředně na dobývání samotného ložiska hnědého uhlí.



*Obr.1. Kolesové rypadlo KU800/20*



Legenda :

1- přední pas

2- zadní pas

3- kráčivý podvozek

4- nakládací výložník

5- podpěrná konstrukce zadního pasu

6- předávací pas

7- vyvažovací výložník

8- držící výložník

9- koleso

10- podpěrný vůz

*Obr. 2. Konstrukce kolesového rypadla KU800/20*

## 2.2 Parametry KU800/20

Průměr kola	.....12,5 m
Objem korečků	.....570 l
Počet korečků	.....26
Otáčky kola	.....5,5 min <sup>-1</sup>

Teoretický výkon .....	4 047 m <sup>3</sup> /hod
Výkon pohonu kola .....	2 x 1000kW
Výška řezu .....	32 m
Hloubka řezu .....	6 m
Výsun .....	15,8 m
Úhel bočního svahu .....	49,5°
Horizontální dosah nakládacího výložníku od osy rypadla	
maximálně .....	96m
minimálně .....	41 m
Rychlost dopravních pasů .....	4 m/sec
Výškové úrovně důlní pasové dopravy a roviny pojezdu rypadla :	
nahoru do .....	15 m
dolu do .....	15 m
Kráčivý podvozek, délka kroku.....	3 m
Teoretická rychlost pohybu stroje .....	3 m/min
Praktická rychlost stroje .....	1-1,4 m/min
Dovolený sklon při provozu .....	4°
Dovolený sklon při transportu .....	6°
Váha stroje .....	4 300 tun

Pozn.:

Velkostroj KU 800/20 je kolesové rypadlo kráčejší pomocí hydraulických válců, na kterých jsou zavěšeny ocelové ližiny po nichž se posouvá a natáčí.

Pohyb nakládacího výložníku je zajištěn podpěrným housenicovým podvozkem.

### **3. ELEKTROENERGETICKÁ ROZVODNÁ ZAŘÍZENÍ**

#### **3.1 Elektrická vedení**

##### **3.1.1 Venkovní vedení**

V uhelných lomech přicházejí do úvahy jednoduchá a dvojíťá venkovní vedení na ocelových příhradových stožárech se stupňovitými betonovými základy a dále jednoduchá venkovní vedení na betonových podpěrách nebo na příhradových ocelových stožárech s hranolovými betonovými základy. Kromě toho jsou v prostoru lomu a výsypky eventuelně u odvodňovacích vrtů v předpolí lomu používána přesuvná venkovní vedení do 35 kV AC, která jsou přesouvána s technologickými zařízeními těžební techniky apod.<sup>[1]</sup>

##### **3.1.2 Kabelová vedení**

V uhelných lomech přicházejí do úvahy dva druhy kabelových vedení a to kabelové vedení stále a kabelové vedení pohyblivé (přesuvné).<sup>[1]</sup>

Kabelové vedení stálé se navrhuje všude tam, kde se nebude jeho trasa dlouhodobě měnit. Jsou tvořena zpravidla zemními kabely s celoplastovými plášti uloženými v zemi. Kabely mají různé průřezy Cu nebo Al.<sup>[1]</sup>

Kabelová vedení pohyblivá (přesuvná) se navrhují všude, kde se bude stále měnit jeho trasa v závislosti na přemísťovaném technologickém zařízení. Kabelová vedení jsou tvořena zpravidla vlečnými kabely s Cu jádry. Tato vedení jsou uložena na povrchu terénu.<sup>[1]</sup>

#### **3.2 Elektrické stanice**

V uhelných lomech se navrhují tyto typy elektrických stanic do 35 kV střídavého napětí (AC) 50 Hz a 1,5 kV stejnosměrného napětí (DC):

a) transformovny a rozvodny do 35 kV (AC), 50 Hz:

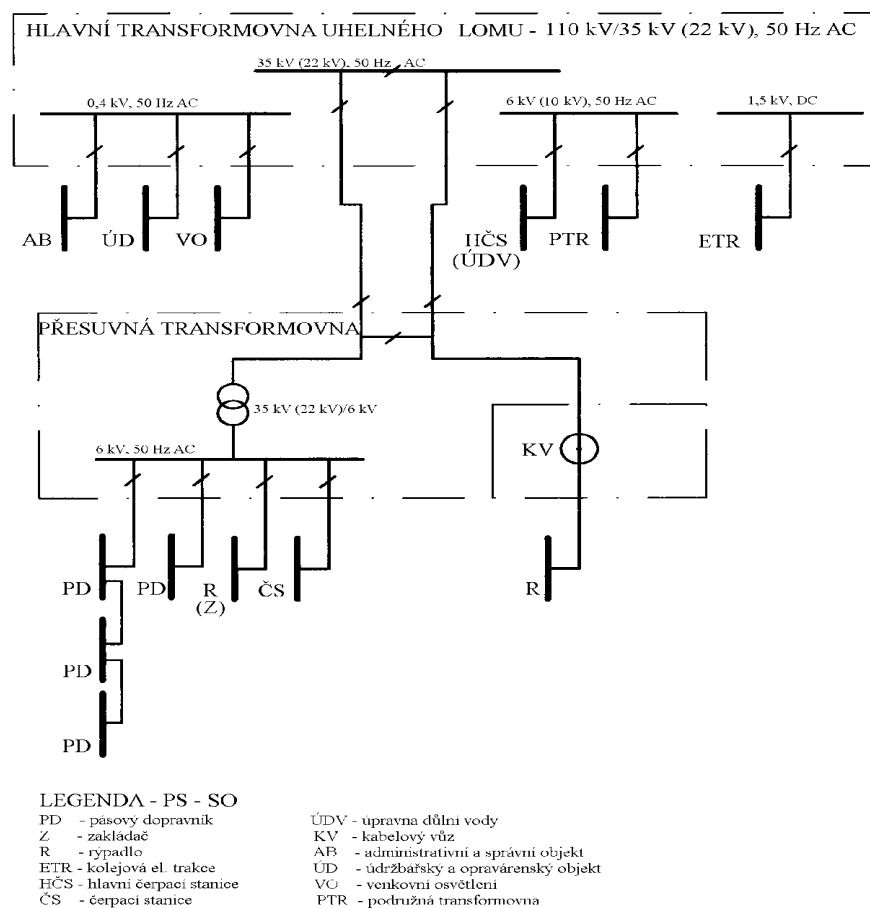
- stabilní - zpravidla ve zděném objektu. Rozvodny jsou skříňové nebo kobkové, výjimečně tzv. stykačové rámy;<sup>[1]</sup>

- přesuvné - zpravidla na ližinách pro snadné přemísťování. Provedení je buď blokové (pro větší výkony), skládající se z několika samostatných funkčních částí (bloků), nebo kioskové (pro menší výkony), kde je v kiosku více funkčních částí;<sup>[1]</sup>

b) měřirny a rozvodny 3 kV ss (DC):

- stabilní - zpravidla ve zděném objektu. Rozvodny jsou většinou skříňové;
- přesuvné - zpravidla na podvozku železničního vozu. Rozvodny jsou skříňového provedení. [1]

Z hlediska rozvodu elektrické energie v uhelném lomu se jedná zpravidla o paprskový rozvod, kdy z hlavní tzv. vstupní elektrické stanice (tam, kde je fakturační měření pro nákup elektrické energie), která je stabilní elektrickou stanicí, jsou napájeny podružné elektrické stanice, které mohou být stabilní nebo přesuvné, podle toho, jak dalece jsou takovéto elektrické stanice předsunuty k technologickému zařízení. [1]



Obr. 3. Principiální přehledové schéma napájení technologických zařízení

### 3.3 Technologická zařízení

Technologická zařízení v uhlém lomu mohou být z hlediska hlavní výrobní činnosti uhlého lomu tato:

- a) technologická zařízení, která tvoří technologický celek (TC) pro dobývání, přepravu a zakládání těžných hmot;
- b) doplňková a pomocná mechanizace pro TC;
- c) technologická zařízení měnících, zajišťujících stejnosměrnou elektrickou energii pro kolejovou elektrickou trakci;
- d) technologická zařízení vodohospodářská (čerpací stanice úpravny důlních vod, odvodňovací vrty apod.);
- e) technologická zařízení opravárenská a údržbářská;
- f) ostatní zařízení, která nevykonávají hlavní výrobní činnost uhlého lomu, ale jsou pro tuto činnost nezbytná (administrativní, správní a sociální objekty, kuchyně apod.). [2]

V provozu jednotlivých uhlých lomů mohou být nasazeny různé kombinace velkostí a šíře pásové dopravy, vytvářející technologický celek (TC) pro zajištění požadovaného úkolu hlavní výrobní činnosti uhlého lomu. [2]

#### 3.3.1 Napětíové soustavy pro technologická zařízení

Používané napětíové soustavy pro napájení technologických zařízení jsou:

- a) 110 kV, 50 Hz AC tam, kde lze předpokládat příkony nad 40 MVA;
- b) 35 kV, 50 Hz AC tam, kde lze předpokládat příkony 20 MVA až 25 MVA;
- c) 22 kV, 50 Hz AC tam, kde lze předpokládat příkony 15 MVA až 18 MVA;
- d) 6 kV, 50 Hz AC tam, kde lze předpokládat příkony 2,5 MVA až 10 MVA.

Používané napětíové soustavy pro napájení jednotlivých pohonů technologických zařízení :

- a) 6 kV, 50 Hz AC;
- b) 500 V, 50 Hz AC,
- c) 400/230 V, 50 Hz AC;
- d) 690 V, 50 Hz AC;
- e) 1500 V DC.

Pro napájení jednotlivých technologických celků se používají zdroje 35/6 kV nebo 22/6 kV těchto výkonů hlavních transformátorů: 4,0 MVA, 6,3 MVA a 10 MVA. [2]



### 3.4 Popis způsobu napájení KU 800/20

Kolesové rypadlo se připojuje na rozvodnou síť 35kV přívodním vlečným kabelem v napájecím bodě. V tomto případě jde o vlečný kabel 35kV CHBU 3x70mm<sup>2</sup>+3x16mm<sup>2</sup>, který je připojen na vývod z výkonového vypínače DT. Maximální délka tohoto kabelu může být 7 500 m. Napájecí napětí rypadla je dále vedeno přes odpojovač kabelového vozu (který je zavěšen na stroji) a kroužkový sběrač do propojovací skříně ve spodní stavbě. Z tohoto místa pak přes otočnou desku a vyvažovací výložník do strojovny, kde jsou připojeny čtyři transformátory (T0101-T0104) 1600kVA, 35/6kV a třívintuřový transformátor (T0105) o výkonu 1300kVA, 350000/525/231/133V, který zajišťuje napájení pro vlastní spotřebu stroje.

#### 3.4.1 Instalovaný výkon (asynchronní motory) na KU800/20

Soustava (IT) 6kV	:	6 120 kW	Soustava (IT) 220V	:	172,1 kW
Soustava (IT) 500V	:	1 390 kW	Soustava (TN) 400V	:	360 kW
Soustava (IT) 690V	:	1 000 kW			

### 3.5. Profil společnosti SD a.s.:

Severočeské doly a.s., IČ 49901982, jsou společností, která vznikla dne 1. ledna 1994 rozhodnutím o privatizaci podstatné části majetku dvou státních podniků, Doly Nástup Tušimice a Doly Bílina, se sídlem v Chomutově. Společnost byla založena dle obchodního zákoníku č. 513/1991 Sb., ve znění pozdějších předpisů, v souladu s obecně závaznými předpisy platnými v České republice. Předmětem jejího podnikání je zejména těžba, úprava a odbyt hnědého uhlí a doprovodných surovin. Údaje o společnosti se zapisují do obchodního rejstříku vedeného Krajským soudem v Ústí nad Labem, v oddíle B, vložce 495.

Svou těžební činnost provozují v Severočeské hnědouhelné pánvi na dvou odloučených lokalitách Tušimice a Bílina. Doly Bílina jsou producentem nízkosíratého tříděného a energetického uhlí. Doly Nástup Tušimice produkují především energetické uhlí. Sortiment produkce je velmi široký a stejně široká a různorodá je i struktura odběratelů, kterým společnost garantuje kvalitu a standardy produkovaného uhlí. Společnost ročně produkuje řádově 20 mil. tun uhlí, čímž zaujímá vedoucí pozici na trhu.

Posláním společnosti není pouze těžba uhlí pro energetiku. Plně si uvědomuje nutnost odpovídající kompenzace využívaných přírodních zdrojů v podobě zahlazování následků důlní činnosti. Důsledná příprava a realizace obnovy krajiny a ekologické stability území po těžbě hnědého uhlí je jednou ze základních součástí činnosti společnosti. Za tímto účelem společnost vytváří finanční rezervy na sanaci a rekultivaci a rezervy na vypořádání důlních škod. Prostředky z rezerv zhodnocuje prostřednictvím finančních instrumentů v souladu s přiměřeně konzervativní rizikovou politikou. [3]



Obr. 4. Rozsah těžební činnosti.

## 4. Základy kompenzace jalového výkonu Q

### 4.1 Základní informace

Hlavním smyslem kompenzace jalového výkonu je snížení odebíraného zdánlivého výkonu a snížení proudu procházejícího napájecím vedením. Kompenzace tedy patří mezi významná úsporná opatření, pomocí kterého se snižuje zatížení napájecího vedení, čímž se snižují ztráty a zvyšuje životnost vedení. Snížení odběru indukčního jalového výkonu se dosáhne vhodnou kombinací spotřebičů, které ze sítě odebírají indukční, jalový a kapacitní výkon.

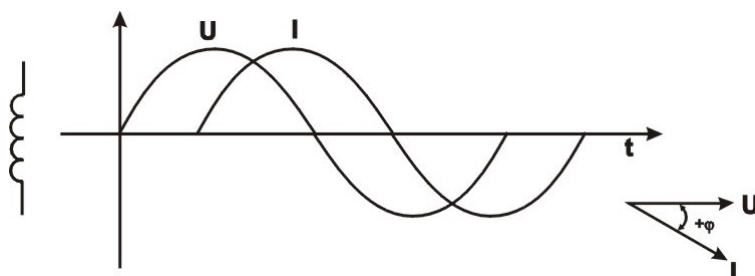
Spotřebiče, které potřebují ke své činnosti vytvořit magnetické pole, způsobují fázový posun mezi napětím napájecí sítě a jeho proudem. Jalový proud induktivního charakteru zvyšuje proud, který sítí protéká a tím i přenosové ztráty a úbytek napětí.

**Účinník** je funkce  $\cos \varphi$ , kde  $\varphi$  je úhel mezi fázorem proudu a napětí. Účinník z hlediska výkonů je definován<sup>[4]</sup> :

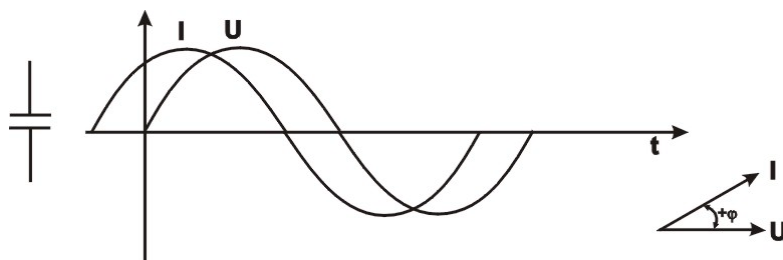
$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (1.)$$

P ... činný výkon [kW]

S ... zdánlivý výkon [kVA]



Obr.5. Posun napětí a proudu induktivních spotřebičů



Obr.6. Posun napětí a proudu kapacitních spotřebičů

Jalový výkon je takový výkon, který se za vektorem napětí buď předbíhá o  $90^\circ$  a nebo opoždí. Jalový výkon, který je  $90^\circ$  za vektorem napětí nazýváme indukční jalový, výkon  $90^\circ$  před vektorem napětí pak nazýváme indukční kapacitní.

Protože se většinou měří činná a jalová energie (výkon), definuje se hodnota  $\tan \varphi$ .

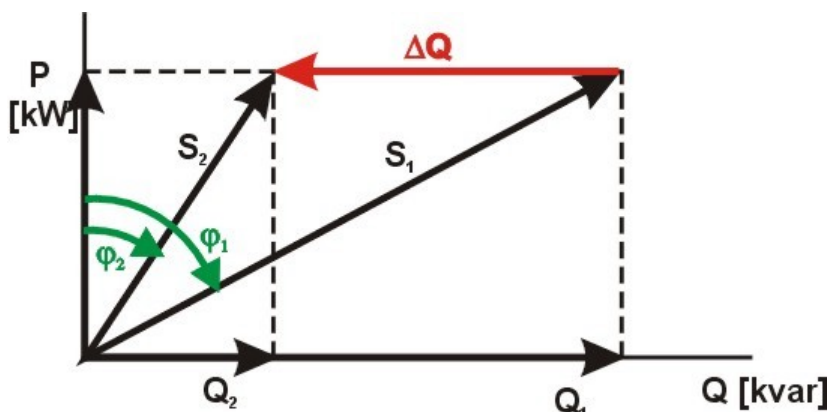
$$\tan \varphi = \frac{Q}{P} \quad (2.)$$

$Q$  ... jalový výkon [kvar]

$P$  ... činný výkon [kW]

Uvedená definice účinku platí pouze na předpokladu sinusového průběhu proudu a napětí, není-li tato podmínka splněna, je definování složitější.

Snížením celkového zdánlivého proudu ve vedení, který je algebraickým součtem činného a jalového proudu, dosáhneme odlehčení napájecího vedení o přenášený indukční jalový výkon a tím pádem snížení jeho zatížení, úbytků napětí a prodloužení jeho životnosti.



Obr.7. Snížení fázového posunu

Z obrázku vidíme, že kosinus úhlu  $\varphi$  je podíl činného výkonu k výkonu zdánlivému. Vložením kondenzátoru do obvodu se zdánlivým výkonem  $S_1$  a účínkem  $\cos \varphi_1$  snížíme jalový výkon  $Q_1$  na hodnotu  $Q_2$ . Snížení proběhlo za přispění jalového výkonu  $\Delta Q$  dodávaného kondenzátorem.

### 4.1.1 Spotřebiče jalového výkonu

#### Asynchronní motory

Asynchronní motory jsou jedním z rozhodujících spotřebičů jalového induktivního výkonu potřebného k vytvoření točivého magnetického pole statoru a k pokrytí rozptylového magnetického toku. Štítkový údaj účinníku se vztahuje ke jmenovitému zatížení, hodnota závisí na konstrukci motoru (např. kroužkové motory nebo pomaloběžné mají horší účinník oproti motorům s kotvou nakrátko nebo rychloběžným). Podstatné je zvětšení odebíraného jalového výkonu a zhoršení účinníku s klesajícím zatížením motoru, zvláště při chodu naprázdno (60-70% příkonu motoru při plném zatížení). [6]

#### Asynchronní generátory

Asynchronní generátory odebírají z rozvodné sítě značný jalový indukční výkon pro vytvoření magnetického pole. [6]

#### Transformátory

Celkový odebíraný jalový výkon  $Q$  je tvořen z jalového výkonu při chodu naprázdno  $Q_0$ , který je asi 1-3,5% jmenovitého výkonu transformátoru a z proměnného jalového výkonu pro pokrytí rozptylového magnetického toku, který se zvětšuje se čtvercem zatížení transformátoru. Hodnota účinníku při chodu transformátoru naprázdno je velmi malá,  $\cos\varphi_0 = 0,1$  až  $0,2$ , tj. čistě jalové zatížení. Proto se vyžaduje kompenzace jalového proudu naprázdno transformátorů středo a velkoodběratelů s měřením jalové energie na sekundární straně transformátoru. Při průměrném zatížení 70% se celkový jalový výkon transformátoru pohybuje mezi 4-6% jmenovitého výkonu transformátoru. [6]

#### Výkonové polovodičové měniče

Jedná se o řízené a neřízené usměrňovače, měniče frekvence se stejnosměrným meziobvodem (napětovým nebo proudovým), přímé měniče frekvence, fázově řízené střídavé spínače apod.

Různé typy měničů se z hlediska odběru jalového výkonu liší, např. řízený polovodičový usměrňovač pro řízení ss motorů pracuje s účinníkem  $\cos\varphi = 0,5$  i horším, avšak střídač s neřízeným usměrňovačem na vstupu a ss napětovým meziobvodem s šířkovou pulzní regulací napětí pro řízení otáček asynchronního motoru může pracovat s účinníkem  $\cos\varphi = 0,95$  apod. Pro řízený polovodičový usměrňovač pro regulaci ss motorů platí, že účinník se zhoršuje s hloubkou regulace otáček a nepřímo s velikostí ss napětí naprázdno  $U_{d0}$  při úhlu řízení tyristorů  $\alpha = 0$ . [6]

### **Ostatní spotřebiče jalového výkonu**

Jedná se zejména o výbojková a zářivková svítidla, svařovací transformátory s rychle se měnícím odebíraným jalovým výkonem (svařovací lisy, bodovky), reaktory pro omezení zkratových proudů apod. [6]

### **Venkovní a kabelová vedení**

Vedení spotřebují poměrně málo jalové energie, a to vlivem své indukčnosti a kapacity.

U venkovních vedení (pod 200km) převládá indukční složka a kapacitní je zanedbatelná.

U kabelových vedení převládá naopak vliv kapacity (kapacita roste čím větší je průřez žil).

Tato vlastnost kabelových sítí může vést při nesprávně provozovaných kompenzačních zařízeních (tj. trvale překompenzovaných) k nebezpečnému nárůstu kapacitního výkonu hlavně v sítích VN. [6]

Vzhledem k tomu, že kompenzace patří mezi významná úsporná opatření při rozvodu elektrické energie, dodavatel (za opory legislativy) vyžaduje odběr elektrické energie s induktivním účínkem v pásmu 0,95-1, nižší hodnoty znamenající vyšší odebíraný jalový výkon jsou penalizovány. Na straně druhé však může nastat situace přebytku induktivního kapacitního výkonu (málo zatížená vedení, kapacitní spotřebiče), kterou nelze řešit kompenzací pomocí kondenzátorových baterií (neboť jsou také kapacitní spotřebiče). Způsobený přebytek kapacitního výkonu (jehož dodávka do sítě distributora je penalizována) je možné eliminovat např. pomocí dekompenzačních tlumivek.

## **4.2 Způsoby kompenzace**

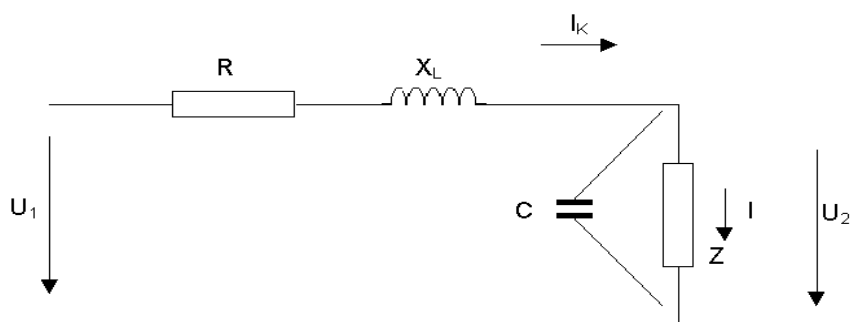
### **4.2.1 Sériová kompenzace**

Sériové zapojení kondenzátoru (kompenzačního zařízení) slouží ke změně parametrů přenosové soustavy, a to změnou induktivní reaktance vedení díky vlivu kapacitní reaktance kondenzátoru. Dojde ke zmenšení úbytku napětí ve vedení.

### **4.2.2 Paralelní kompenzace**

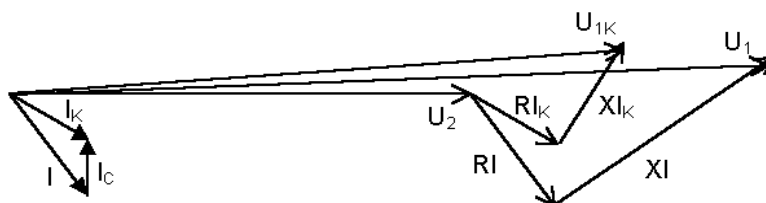
Nejpoužívanější metodou v sítích nízkého napětí je kompenzace pomocí paralelně připojených statických kondenzátorů, která je jedním z nejdůležitějších a ekonomicky nejvýhodnějších opatření.

Základní situaci lze u paralelní kompenzace vyjádřit následujícím schématem :



Obr.8. Schéma paralelní kompenzace

Celý efekt paralelní kompenzace vyplývá z fázorového diagramu na obr. 8. Před kompenzací protéká vedením proud  $I$ . Tento proud protéká také zátěží (spotřebič  $Z$ ) a vytváří na vedení příslušné úbytky napětí  $RI$  a  $X_L I$ . Po kompenzaci (připojení paralelního kondenzátoru) se vektorově sečte proud zátěže  $I$  s proudem kondenzátoru  $I_C$ , výsledný proud  $I_K$  pak protéká vedením a vytváří příslušné úbytky napětí  $RI_K$  a  $X_L I_K$ . [4]



Obr.9. Fázorový diagram paralelní kompenzace

Tím dochází ke snížení úbytku napětí. Zároveň dojde ke snížení ztrát na vedení, protože absolutní hodnota proudu  $I_K$  je menší než absolutní hodnota proudu  $I$  a tak se zároveň zvýší průchodnost vedení. [4]

### 4.3 Metody kompenzace

Dle umístění kompenzačního zařízení (vzhledem ke spotřebiči) rozlišujeme tyto základní metody :

- individuální
- skupinovou
- centrální
- smíšená

### 4.3.1 Individuální kompenzace

Statické kondenzátory individuální kompenzace nízkého napětí se připojí buď na svorky motoru přímo nebo na výstupní doteky pojistek. U motorů vysokého napětí musí být kondenzátor opatřen pojistkami a vybíjecím zařízením. Kondenzátory se nevypínají, odpadá tedy údržba vypínacích zařízení, regulačních ústrojí atd. [4]

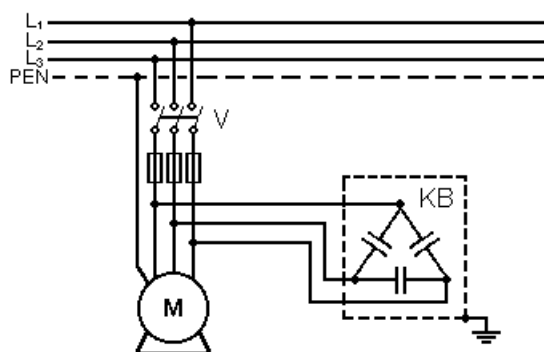
Výhody :

- induktivní výkon se kompenzuje přímo v místě vzniku,
- odlehčení přívodů a celé sítě, zmenšení ztrát ve vedení a úbytku napětí,
- při správně navržené kompenzaci nevznikne nebezpečí překompenzace,
- statický kondenzátor nepotřebuje zvláštní vypínač a u nízkého napětí ani pojistky a vybíjecí odpory,
- nevzniká spínací přepětí.

Nevýhody :

- malé využití instalovaného výkonu kondenzátorů u strojů s malou dobou využití,
- obtížnější kontrola při rozptýleném umístění kompenzovaných zařízení.

Tento způsob kompenzace je vhodný hlavně pro málo zatížené a krátkodobě, ale často spouštěné asynchronní motory se špatným účinníkem. [4]



Obr.10. Příklad individuální kompenzace



### 4.3.2 Skupinová kompenzace

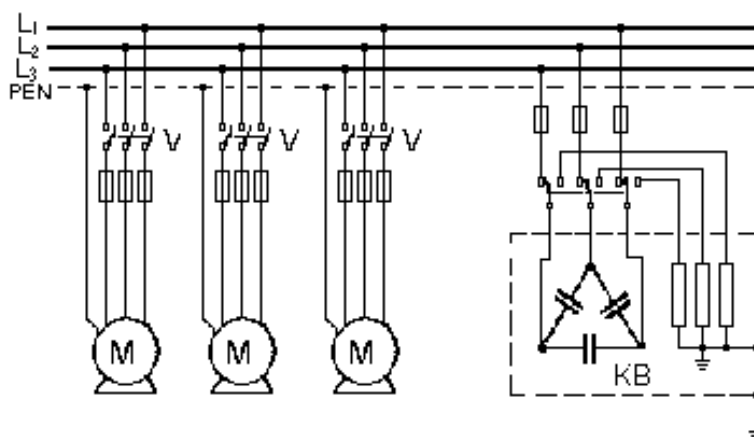
Statický kondenzátor nebo kondenzátorová baterie se u skupinové kompenzace připojuje na přípojnice skupinového rozváděče, který obvykle slouží pro spotřebiče jednotlivé dílny či objektu.

Výhody :

- velikost kapacitního výkonu je nižší než u individuální kompenzace vzhledem k soudobosti spotřebičů, tzn. lepší využití kondenzátorů,
- odlehčení napájecího vedení je až po skupinovou kompenzaci.

Nevýhody :

- vedení od skupinového rozváděče ke spotřebičům nejsou proudově odlehčena a tedy v nich nevznikají úspory ztrát a nezíská se zlepšení úbytků napětí,
- kondenzátory musí mít vypínače, pojistky a vybíjecí zařízení,
- je nutná regulace kompenzačního zařízení. [4]



Obr.11.Příklad skupinové kompenzace

### 4.3.3 Centrální kompenzace

Při centrální kompenzaci se kompenzuje induktivní výkon pro celý závod v jednom místě, obvykle v rozvodně.

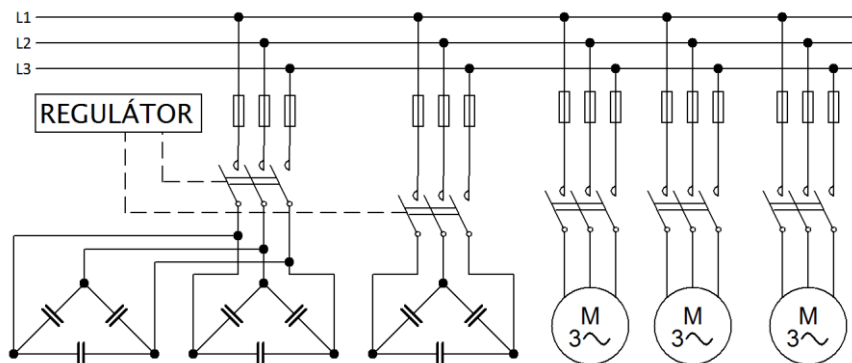
Výhody :

- velikost kondenzátorové baterie je ve srovnání s předchozími způsoby vlivem nesusčasnosti spotřebičů nejmenší a tedy využití je největší,
- kompenzační zařízení je přehledné - na jednom místě, tím je jeho kontrola snadnější.

Nevýhody :

- kondenzátorová baterie musí být opatřena složitou samočinnou regulací,
- rozvodná síť závodu není odlehčena od přenosu induktivního výkonu,
- obtížné zvětšování kompenzačního zařízení při rozšíření závodu.

V zájmu odlehčení části napájecího vedení se někdy připojuje kompenzační zařízení ne na hlavní, nýbrž na některý podružný rozváděč v místě největší spotřeby induktivního výkonu. Tento způsob kompenzace je zatím u nás nejrozšířenější. [4]



Obr.12.Příklad centrální kompenzace

#### 4.3.4 Rozdělení kompenzačního zařízení dle způsobu spínání

**a)klasické kompenzátory** – kondenzátorová baterie je připínána k síti pomocí stykače s odporovým spínáním, který omezuje přechodový jev. Klasické kompenzátory jsou vhodné do sítí s nízkým podílem nelineárních zátěží (bez harmonických frekvencí) a do prostředí, kde nehrozí vznik rezonance kapacity kompenzace s indukčností zátěže. Výhodou jsou malé ztráty a příznivá cena. [7]

**b)hrazené (chráněné) kompenzátory** – kondenzátorová baterie je zapojena sériově s tlumicí tlumivkou a tvoří tím LC obvod pracující jako širokopásmový filtrační obvod pro harmonické nad rezonančním kmitočtem obvodu. Hrazené kompenzátory jsou určeny do sítí s vyšším podílem nelineárních zátěží a do prostředí kde hrozí nebezpečí vzniku rezonance kompenzační kapacity s indukčností zátěže nebo transformátoru. Připínání k síti je pomocí stykače s odporovým spínáním omezující přechodový jev, ovládaný regulátorem jalového výkonu. [7]

**c)hrazené (chráněné) kompenzátory s bezkontaktním spínáním** – kondenzátorová baterie je zapojena sériově s tlumicí tlumivkou a tvoří tím LC obvod pracující jako širokopásmový filtrační obvod pro harmonické nad rezonančním kmitočtem obvodu. Hrazené kompenzátory jsou určeny do sítí s vyšším podílem nelineárních zátěží a do prostředí kde hrozí nebezpečí vzniku rezonance

kompenzační kapacity s indukčností zátěže nebo transformátoru. Připínání k síti je však řešeno pomocí tyristorových spínačů bez přechodových jevů. Vysoká rychlost regulace (teoreticky je dána frekvencí sítě tzn. až 20ms, typicky 80ms s nastavitelnou prodlevou) a kvalita kompenzace vyváží vyšší pořizovací náklady na kompenzaci. [7]

**d) filtračně kompenzační zařízení** – je zařízení individuálně konstruované na základě měření rozvodné soustavy. Kompenzační filtr tvoří sériový rezonanční LC obvod naladěný na harmonickou frekvenci (rezonanční frekvenci), při které má minimální impedanci a tím filtruje harmonické proudy, vznikající na různých zařízeních připojených na síť. Tento LC obvod se připojuje paralelně k rozvodové soustavě co nejbližší místu vzniku harmonických frekvencí. Pro harmonické nižší než je rezonanční frekvence se však chová jako kompenzační obvod, tedy pouze kompenzuje jalový výkon. [7]

**e) dekompenzační zařízení** - jsou určené pro kompenzaci kapacitního proudu, který vzniká na prvcích rozvodové soustavy (např. kabely, dlouhá vedení naprázdno apod.). Dodává do sítě induktivní výkon. Řízení probíhá nejčastěji spínáním jednotlivých kompenzačních tlumivek (dříve dekompenzačních) a je vhodné je kombinovat s kondenzátorovou kompenzací. [7]

## 4.4 Prostředky kompenzace

### 4.4.1 Kondenzátory NN

V dnešní době je pro výrobu nízkonapěťových kompenzačních kondenzátorů nejčastěji používán systém MKP. Svitky jsou tvořeny jednostranně pokoveným polypropylenovým filmem. Jedná se o suchý systém plněný pevnými hmotami rostlinného původu nebo netečnými plyny. Všechny náplně musejí být ekologicky nezávadné. Dielektrický systém MKP je samoregenerační což znamená, že při průrazu dielektrika se pokovená vrstva odpaří. Vznikne pouze malá izolační plocha, která nemá vliv na další funkčnost kondenzátoru. Kompenzační kondenzátory NN různých výkonů jsou na obr. 12. [5]



*Obr.13. Kompenzační kondenzátory NN*

Pro vybití kondenzátoru slouží integrované vybíjecí rezistory. Ty by měly být schopny snížit nebezpečné zbytkové napětí na kondenzátoru minimálně na 75 V během tří minut. Působením tepelného nebo elektrického přetížení může u kondenzátoru dojít i k explozi. Z tohoto důvodu je v kondenzátoru použita přetlaková pojistka. Zvyšující se tlak v kondenzátoru při jeho namáhání způsobí nadzvedávání víka a dojde tak k mechanickému přetržení přívodů ke svítkům. K jistění kondenzátorů se používají i běžné pojistky podle doporučení výrobce. Nejčastěji to jsou pojistky s pomalými charakteristikami (gG) se jmenovitým proudem rovným alespoň 1,3 násobku jmenovitého proudu kondenzátorů. [5]

#### **4.4.2 Kondenzátory VN**

Dielektrikem těchto kondenzátorů je polypropylenová fólie impregnovaná ekologicky nezávadnou syntetickou kapalinou. Elektrody tvoří hliníková folie. Ztráty jsou přibližně stejné jako u kondenzátorů na nízké napětí. Kondenzátory VN jsou konstruovány jako jednofázové nebo třífázové zapojené do hvězdy. Stejně jako kondenzátory NN jsou vybaveny vnitřními vybíjecími rezistory. Doba vybití na stanovených 75 V je až 10 minut. Jejich bezpečný provoz lze rovněž zajistit tlakovým čidlem. Další udávané katalogové hodnoty jsou obdobné jako u kondenzátorů nízkého napětí. Kompenzační kondenzátory VN různých výkonů a počtu fází jsou na Obr. 14. [5]



*Obr.14. Kompenzační kondenzátory VN*

#### **4.4.3 Rotační kompenzátory**

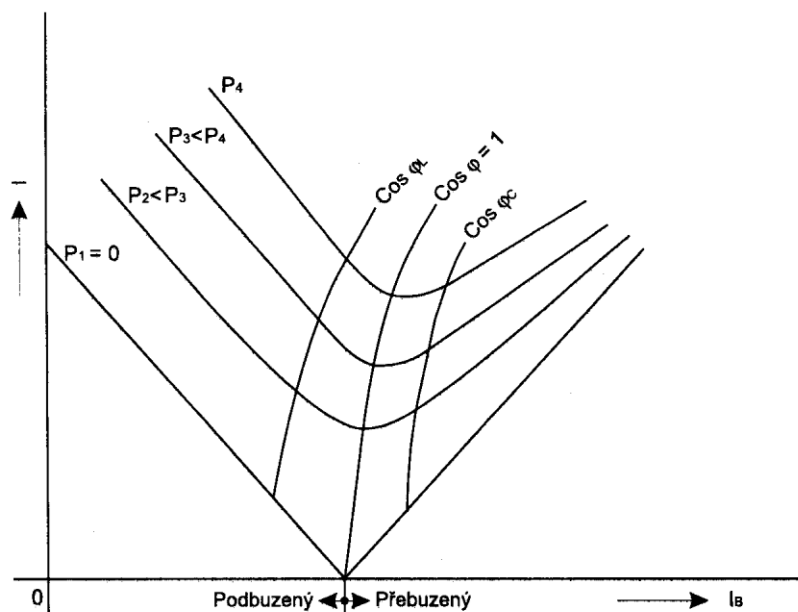
Rotační kompenzátory jsou synchronní motory, které běží naprázdno v přebuzeném stavu. Kompenzační výkon se mění plynule buzením těchto strojů, což je výhoda těchto kompenzátorů. Nevýhodou jsou poněkud větší činné ztráty (2 – 8 % jmenovitého výkonu) a přítomnost rotačních částí. Oproti statickým kompenzátorům jsou rotační kompenzátory náročnější na údržbu. [4]

#### **4.4.4 Synchronní motory**

Synchronní motory v přebuzeném stavu rovněž dodávají do sítě jalovou energii. Jejich hodnocení je shodné se synchronními kompenzátory s tím rozdílem, že ještě předávají mechanický výkon na hřídeli. [4]

Synchronní elektromotory se používají v aplikacích, kde lze očekávat poměrně stabilní zátěžný moment, tedy například pro pohony čerpadel, kompresorů, ventilátorů, rotačních pecí apod. Měníme-li velikost budícího proudu při stálém napájecím napětí o stálém kmitočtu, je za předpokladu konstantního zátěžného momentu stálý i činný výkon motoru. Změnou velikosti budícího proudu ale můžeme měnit účinník odběru motoru, a to jak v oblasti induktivní, tak i v oblasti kapacitní.

Závislost proudu satoru na budícím proudu při stálém výkonu má tvar tzv. V-křivek – viz obr.15<sub>[4]</sub>



Obr. 15. V-křivky synchronního stroje

K dosažení stálého účinku při různém zatížení je třeba vhodným způsobem řídit budicí proud. Regulátory, jimiž se synchronní motory často osazují, mohou zajistit chod motoru i při změnách činného zatížení buď z konstantním účinkem, nebo konstantním jalovým výkonem. [4]

Těchto vlastností synchronních motorů lze velmi účelně využít ke kompenzaci jalového výkonu paralelně připojených spotřebičů. V případě, že je to ekonomicky zdůvodnitelné jsou pro kompenzaci jalového výkonu používány synchronní kompenzátory. Jsou to vlastně synchronní motory pracující naprázdno, tedy z minimálním činným výkonem a relativně z velkým rozsahem regulace jalového výkonu. [4]

Vzhledem k vysokým jednotkovým výkonům synchronních strojů (přibližně od 1 do 15 Mvar) a pomalejší regulaci jalového výkonu oproti jiným kompenzačním zařízením se tyto stroje využívají jako centrální kompenzace velkých průmyslových sítí. Připojují se k přípojnícím podružných průmyslových rozvodů 6 kV nebo přes samostatný transformátor 22/6 kV k přípojnícím hlavních rozvodů. [4]

Kompenzace jalového výkonu pomocí synchronních strojů je v poslední době v útlumu. Provoz synchronních strojů je spojen se spotřebou činné energie, vyššími nároky na údržbu zařízení a v neposlední řadě vyššími nároky na obestavený prostor a jeho vybavenost oproti kompenzačním zařízením statickým. [4]

## 5. Synchronní rotační kompenzátor 1HKY 5657/6

### 5.1 Popis

Kompensace účinníku na tomto rypadle je prováděna na hodnotu  $\cos\varphi = 0,95$  použitím centrálně rotačního synchronního kompenzátoru výše zmíněného typu o výkonu 2 660kvar.

Štítkové hodnoty :

- $U_N = 6000V$ ,  $I_N = 257A$ , otáčky  $1000\text{min}^{-1}$ ,  $I_b = 82 - 275 A$ ,  $U_b = 14-60V$
- tvar stroje IM 1002 v provedení IP42

Tento kompenzátor je umístěn i s rozvaděčem regulace ve strojovně velkostroje , která se nachází na vyvažovacím výložníku. Zde (pole RM 2.12) je napojen, přes odpojovač, vypínač a rozběhovou tlumivku, na rozvodnou soustavu 6kV. Vypínač kompenzátoru je vybaven střadačovým pružinovým a motorickým pohonem , zapínal a vypínal se ručně . Je osazen podpět'ovou cívkou, na kterou působí celá řada jisticích a kontrolních prvků. Řízení kompenzátoru je provedeno třífázovým tyristorovým usměrňovačem, který je napájen řídicím proudem z proudových transformátorů napájení rypadla z nadřazené rozvodné soustavy 35kV. Rozběh kompenzátoru, jeho nabuzení a regulace účinníku jsou prováděny automaticky, jen požadovaná hodnota  $\cos\varphi$  se nastavuje manuálně a to zpravidla při maximálním výkonovém zatížení rypadla.

### 5.2 Důvody ke změně

Hlavními důvody případné náhrady rotačního kompenzátoru jsou :

a) Náročné podmínky těžby, kdy se neustále mění výkonové zatížení stroje, které je ovlivněno celou řadou provozních faktorů jako je například objem dobývané horniny, její tvrdost, zvolený způsob technologie dobývání nebo časté transporty stroje což znamená opětovné zapínání a vypínání dopravních linek včetně motorů kola (z bezpečnostních důvodů ).

Obecně tedy synchronní stroje jsou nevhodné ke kompenzaci spotřebičů, jejichž spotřeba jalového výkonu se dynamicky mění . V těchto případech dochází v době, než synchronní stroj díky zpoždění zvýší svůj kompenzační výkon, k nedokompenzování, zatímco ještě po jistou dobu, kdy již potřeba kompenzačního výkonu pominula, dále tento výkon dodává. To má negativní dopad na výsledné kolísání napětí, které na změnách jalového výkonu závisí. [4]

b) Časté poruchy elektronických součástí v okruhu budiče, zejména při spouštění 6kV motorů pohonů kráčení. Kompenzátor vypadá ze synchronismu, což se projevuje zvýšeným napětím v rozvodné soustavě, které může způsobit poruchy na ostatním elektrozařízení velkostroje.

c) Negativní účinky značných otřesů při provozu rypadla , které působí zejména na strojní součásti kompenzátoru ( důsledná a pravidelná kontrola všech šroubových spojů včetně kotevních šroubů), ale i na svorky, spoje a uchycení kabelových vedení .

d) Dalším vážným důvodem je samotná náročnost údržby a zajištění případné opravárenské činnosti. Pro bezporuchový provoz synchronního motoru je věnována maximální pozornost jeho údržbě a to zejména sběrnému ústrojí, kroužkům pro přívod proudu do rotoru a chladicímu systému, které se musí v pravidelných intervalech čistit od nánosů prachu stlačeným vzduchem. Provádí se kontrola opotřebovanosti uhlíků a dochází k čištění kartáčů od uhlíkového prachu aby nedocházelo k přeskokům. Při běžných revizích, které jsou obvykle jednou za rok, probíhá očista jak statorového tak i rotorového vinutí a provádí se kontrola jejich izolačního stavu a celistvosti izolace. Ve výčtu nutných prací spojených s údržbou při odstávkách a revizích bych mohl pokračovat dále, ale chtěl jsem jen poukázat na to, že v prostředí povrchového dolu, kde prach je vždy a všude přítomný, je velice problematické udržet zařízení v takové čistotě jako vyžadují výrobci těchto zařízení. Pak dochází k opalování uhlíků, jejich zasekávání v držácích a k mechanickému poškození kroužkového sběrače. To jsou nejběžnější poruchy.

Během hlavních revizí, které se uskutečňují jednou za dva roky anebo při těžkých poruchách jako jsou například zkraty na jakékoli části kompenzátoru (mezifázový a zemní zkrat ve statorovém vinutí, mezifázový a zemní zkrat v rotorovém vinutí atd.) či poruchy ložisek (zvýšená teplota a vibrace) je nutno kompenzátor odstavit.

Pak je velice složité získat dostatečnou časovou rezervu na opravu zařízení, zajistit fundovanou firmu s tím, že do termínu opravy musím mít všechny možné náhradní díly (ted' mám na mysli třeba nová ložiska). Vzhledem k tomu, že kompenzátor je umístěn ve strojovně vyvažovacího výložníku, který je ve výšce 30m nad zemí a při jeho váze 11 750 kg, je nutné zajistit těžkou zdvihací techniku. Samotná oprava probíhá v prostoru strojovny , ale záleží na povaze poruchy.

V řeči čísel kdy sada nových ložisek vychází na 100 000kč, práce externí firmy stojí 80 000 (počítám nasazení čtyř pracovníků po dobu 5 dnů s osmihodinovou pracovní dobou při sazbě 500kč/hod) a pronájem těžkého autojeřábu ( 8000kč/hod na celých 5 dní) dělá 320 000kč.

Celkem oprava vadných ložisek rotačního kompenzátoru výměnou za nová ložiska vychází na **500 000kč**.

Sečteme-li roční náklady na provoz a údržbu a finanční pokrytí činných ztrát tohoto typu synchronního stroje (2 000 000kč v cenách za kWh z roku 2000) tak roční provozní náklady jsou 2 250 000kč.

Cena níže popsaného kompenzačního rozvaděče je, dle vyjádření dodavatelské společnosti, 2 500 000kč včetně jeho instalace a funkčních zkoušek. Teoretická doba návratnosti je tedy již po 14. měsících po uvedení do provozu.



## 6. Kompenzační rozvaděč

### 6.1 Popis

Navrhuji kompenzační rozvaděč, který je filtračně-kompenzační stupňovitě spínaný a řízený mikroprocesorovým regulátorem. Spínání prováděno vakuovými stykači V7-contact 702kV, které jsou vybaveny integrovanými pojistkovými spodky 400A pro pojistky CMF 7,2kV, 63A až 315A. Každý ze tří stupňů je vybaven trojfázovou tlumivkou se železným jádrem a s kondenzátorovou baterií tvořící LC filtrační obvod pro omezení vyšších harmonických, který je vyladěn na 240Hz. Kondenzátorové baterie jsou složeny z jednotek 200kvar a 400kvar s hygienicky nezávadným dielektrikem (neobsahuje PCB), jsou vybaveny vnitřními pojistkami svitků, vnitřními vybíjecími odpory a mají přetlakový spínač. Přívod je vybaven měřením proudu ve třech fázích a měřením sdruženého napětí. Regulace jalového výkonu je automatická podle proudu a napětí v přívodu 35kV.

Regulátor by měl umožňovat měření vyšších harmonických, dálkové nastavování parametrů regulace a odečítání naměřených hodnot pro sběrnici RS 485. Rozvaděč by měl být vybaven signalizačním zařízením poruch rovněž s možností komunikace po RS. Doporučuji použít ochranu proti možnosti kmitání stykačů. Rozvaděč musí nucenou ventilaci spínanou termostaty.

Pro připojení napájení 6kV a jištění tohoto kompenzačního zařízení bych využil stávající instalaci vývodového pole RM2.12, které slouží jako napájecí místo pro rotační kompenzátor.

Po samotné demontáži rotačního synchronního kompenzátoru včetně jeho frémy a dalšího strojního zařízení je nutné, ve strojovně rypadla, doplnit adekvátní zátěž kvůli správnému vyvážení celého stroje. To znamená dodat do prostoru strojovny, v místě budoucího umístění rozvaděče, závaží v podobě ocelových ingotů o hmotnosti 11 700kg. Počítám s hmotností rozvaděče 3000kg a hmotnost kompletního synchronního motoru je 14 700kg (dle technické dokumentace).

### 6.2 Technické parametry

Filtračně-kompenzační rozvaděč je připojen na s-lanem 6-CHCU 3x95+3x16mm<sup>2</sup> v délce 30m na vývod 6kV z rozvodny RM2 ve strojovně KU800/20. Vývodové pole je vybaveno vypínačem SF6, měřením proudu 300/5A a nadproudovou ochranou AT31X. Dále je z rozvaděče RS 1.2. připojeno napětí pomocných obvodů 230V, 50Hz a pomocné kontakty vypínače.

Kompenzační rozvaděč FKR6/3220-3-R by byl osazen na plošině ve strojovně velkstroje v místě po demontovaném rotačním kompenzátoru.

Technické parametry kompenzačního rozvaděče FKR6/3220-3-R:

Napěťová soustava hlavních obvodů:	3+PE~50Hz 6kV/IT
Napěťová soustava pomocných obvodů:	1+PE~50Hz 230V/IT
Jmenovité napětí:	6,3kV
Jmenovitý proud přívodu:	400A
Instalovaný výkon:	4200kvar
Kompenzační výkon:	3220kvar
Počet/váha/velikost stupňů:	3/1:2:4/460,920,1840kvar
Zkratová odolnost:	40/16kA
Krytí:	IP40/00
Výkonové stupně:	0,460,920,1380,1840,2300,2760,3220kvar
Rozměry:	5200x800x2000mm (š x hl. x v)
Hmotnost:	3000kg <sup>[8]</sup>

Jedná se o kompaktní kompenzační rozvaděč vnitřního provedení, určený pro síť o jmenovitém napětí 6 respektive 6,3kV. Slouží ke skupinové kompenzaci účinníků všech spotřebičů připojených ze sítě 6kV a to i v případech, kdy kombinovaná síť je ovlivňována vyššími harmonickými generovanými rušivými spotřebiči. <sup>[8]</sup> Takovými spotřebiči jsou softstartéry motorů kola nebo frekvenční měniče pro napájení střídavých pohonů pohybů rypadla (otoč, výsun a zdvih).

## 6.3 Silová část

Silová část rozvaděče nese označení RC1 a nalézá se ve čtyřech skříních s dveřmi přístupnými z venkovního prostředí. Skříně mají krytí IP40 a jejich větrání je zajištěno ventilátory a filtry. Konstrukce skříní je dostatečně robustní pro zajištění ochrany zařízení před vnějšími vlivy i bezpečnosti jeho obsluhy. Povrchová úprava je provedena práškovými barvami. Hlavní vypínač pro kompenzační rozvaděč je v poli RM2.12. rozvaděče 6kV ve strojovně KU800/20 a působí na něj nadproudová, zkratová ochrana a poruchová signalizace PSZ30. Přívod do kompenzačního rozvaděče je proveden gumovou šňůrou 6-CHCU 3x95 do vstupního pole RC 1.0 k tomu určenému. (V tomto vstupním poli je taktéž umístěna oddělená NN část s pomocnými regulačními body – viz. dále). Celým rozvaděčem prochází přípojnicový systém zajišťující propojení jednotlivých jeho částí. <sup>[8]</sup>

Silové schéma rozvaděče sestává ze tří paralelně připojených kompenzačních stupňů. Každý z těchto stupňů má určitý kompenzační výkon a vzájemným poměrem výkonů je dána kompenzační váha stupňů 1:2:4.

Každý ze stupňů sestává z následujících součástí:

- Vakuového stykače ABB-SACE, V7-Contact, v provedení pro pevnou montáž s vestavěným držákem pojistek CMF 7,2kV. Tento spínací prvek je zvláště vhodný ke spínání kapacitních proudů a vyznačuje se vysokou životností a spolehlivostí
- Trojfázové filtrační tlumivky se železným jádrem tvoří s příslušnou kondenzátorovou baterií sériový filtrační LC obvod laděný na 240Hz
- jednofázové kondenzátory VISHAY Roederstein zapojeny do trojúhelníka tvoří baterii příslušného stupně kompenzace.

První stupeň má baterii 600kvar (460kvar kompenzačních), druhý 1200kvar (920kvar kompenzačních), třetí se skládá z tlumivek i baterií celkem 2400kvar (1840kvar kompenzačních). Jedná se o kondenzátory vyrobené technologií ALL-FILM, s nízkými elektrickými ztrátami a hygienicky nezávadným dielektrikem. Kondenzátory jsou opatřeny pojistkami svítků, vestavěnými vybíjecími odpory a tlakovým pojistným spínačem.

## 6.4 Pomocné a regulační obvody

Pomocné a regulační obvody zahrnují obvody regulátoru jalového výkonu, ovládání stykačů jednotlivých stupňů, zpětného hlášení stavu stykačů, hlášení a signalizace poruch a vypnutí hlavního vypínače při poruše, měření proudu kompenzovaného rozvaděče, chlazení silových skříní.

Tyto obvody jsou napájeny externím střídavým napětím 230V 50Hz, jistěných minimálně 16A soustavy izolované. Většina pomocných obvodů se nachází v samostatném prostoru přírodního mezipole RC1.0 a na jeho dveřích. Do těchto míst jsou přivedeny všechny signály pro regulaci, externí pomocné napětí a hlášení o stavu hlavního vypínače.

Přívod pomocného napětí je chráněn odrušovacím členem kombinovaným s přepětovou ochranou. Dále je zde nadproudové jistění pomocných obvodů, prvky pro zapnutí ovládacího napětí a regulace, signalizace zapnutí vakuových stykačů a havarijní vypnutí vysokého napětí. Případné poruchy jsou registrovány a signalizovány mikroprocesorovým signalizačním zařízením PSZ a působí na vypnutí hlavního vypínače prostřednictvím jeho nulové (podpěťové) cívky. Proud kompenzace je měřen ampérmetry napájených z proudového transformátoru v přívodu kompenzace. Dále prostor obsahuje některá pomocná relé a ochrany.

Připínání a odpínání jednotlivých silových stupňů se děje na základě povelu mikroprocesorového regulátoru NOVAR 206. Na základě fázového posunu signálu napětí a proudu přívodu do kompenzovaného úseku sítě zjistí okamžitou hodnotu účinníku odběru. Vyhodnotí odchylku mezi žádanou a skutečnou hodnotou účinníku, určí velikost potřebné změny kompenzačního výkonu a realizuje spínání jednotlivých stupňů. Podle stanoveného algoritmu určuje, které ze stupňů je zapotřebí zapnout či vypnout. Zpoždění manipulace je závislé na akutnosti požadavku a je rovněž respektována díky osazení "rychlo vybíjení", což umožňuje krátkou dobu "znovu zapnutí" příslušného stupně (doba blokování 30s). Regulátor umožňuje obsluze nastavit parametr regulace jako je žádaná hodnota účinníku a zpoždění. Při své funkci preferuje spínání v kruhu, tj. při spínání stupňů stejné váhy zapíná stupeň, který je nejdelší dobu vypnutý a vypíná stupeň nejdéle zapnutý. Je tak zajištěno rovnoměrné využití a tedy i opotřebení stupňů. Regulátor umožňuje rovněž ruční režim ovládání kompenzačních stupňů. Během své funkce nepřetržitě digitálně zobrazuje okamžitou hodnotu účinníku kompenzovaného odběru a je možno zobrazit i další měřené parametry. [8]

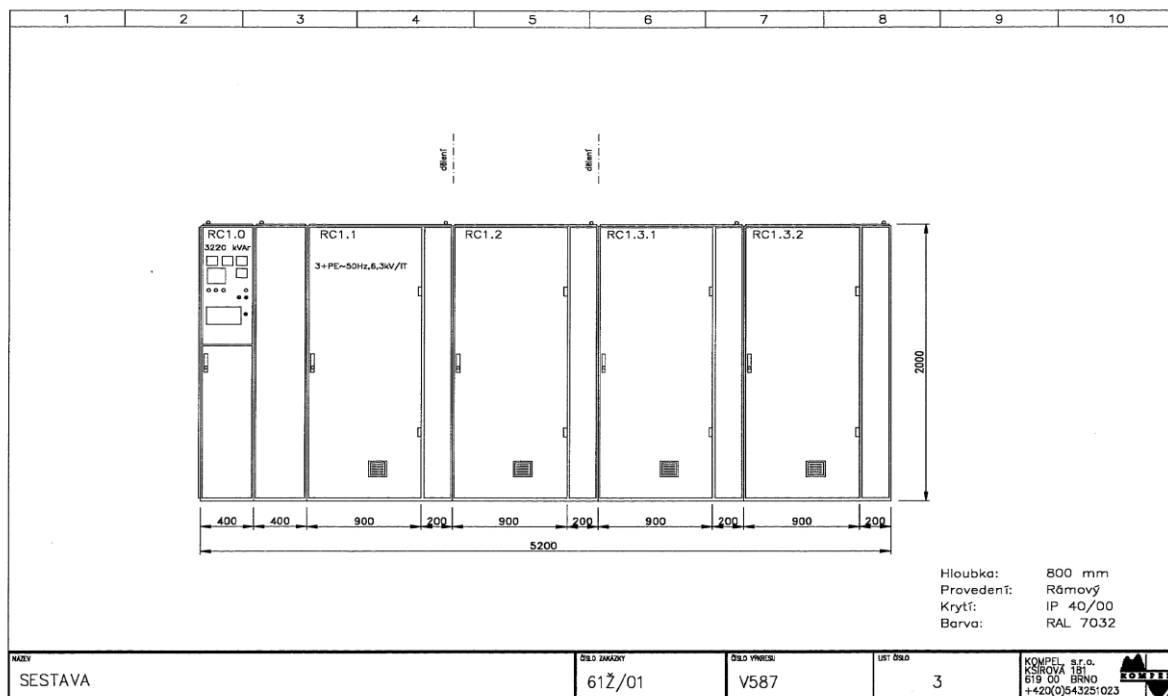
Signálem pro funkce regulátoru je sdružené napětí kompenzované sítě odebírané z přístrojových transformátorů napětí 35000/100V a proud jedné fáze přívodu do kompenzované části sítě (zahrnující i proud kompenzátoru) z přístrojového transformátoru proudu 150/5A.

Aby během provozu rozvaděče nemohlo dojít ke kmitání stykačů a to ani při jejich poruše nebo nedokonalém kontaktu v obvodu jejich cívků jsou použita blokovací časová relé nastavená na 30s.

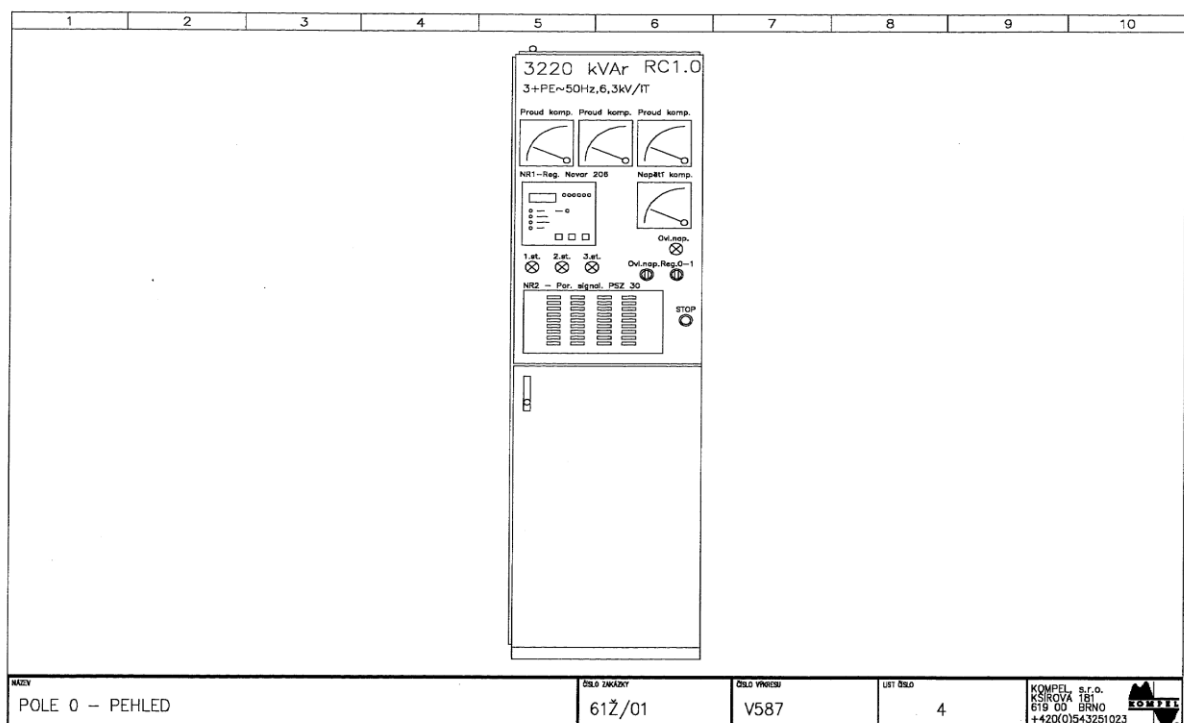
V silové části RC se z pomocných obvodů nalézají obvody cívek stykačů, signalizace stavů stykačů, ventilace a signalizace poruch.

Poruchami silové části jsou otevření některých dveří (koncové spínače), přehřátí vnitřního prostoru rozvaděče (termostat), zvýšení tlaku v některém kondenzátoru (tlaková kontaktní čidla), výpadek některé ze silových pojistek a na jádrech tlumivek čidla přehřátí.

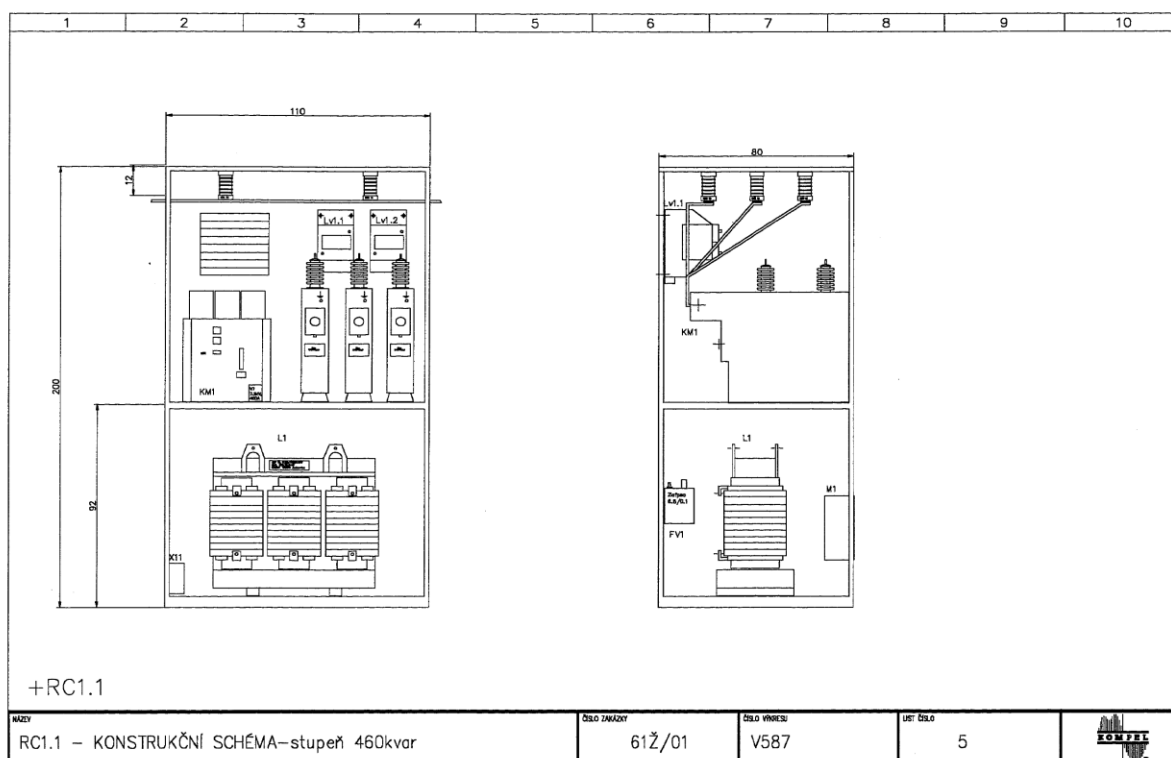
## Kompenzační rozvaděč FKR6/3220-3-R :



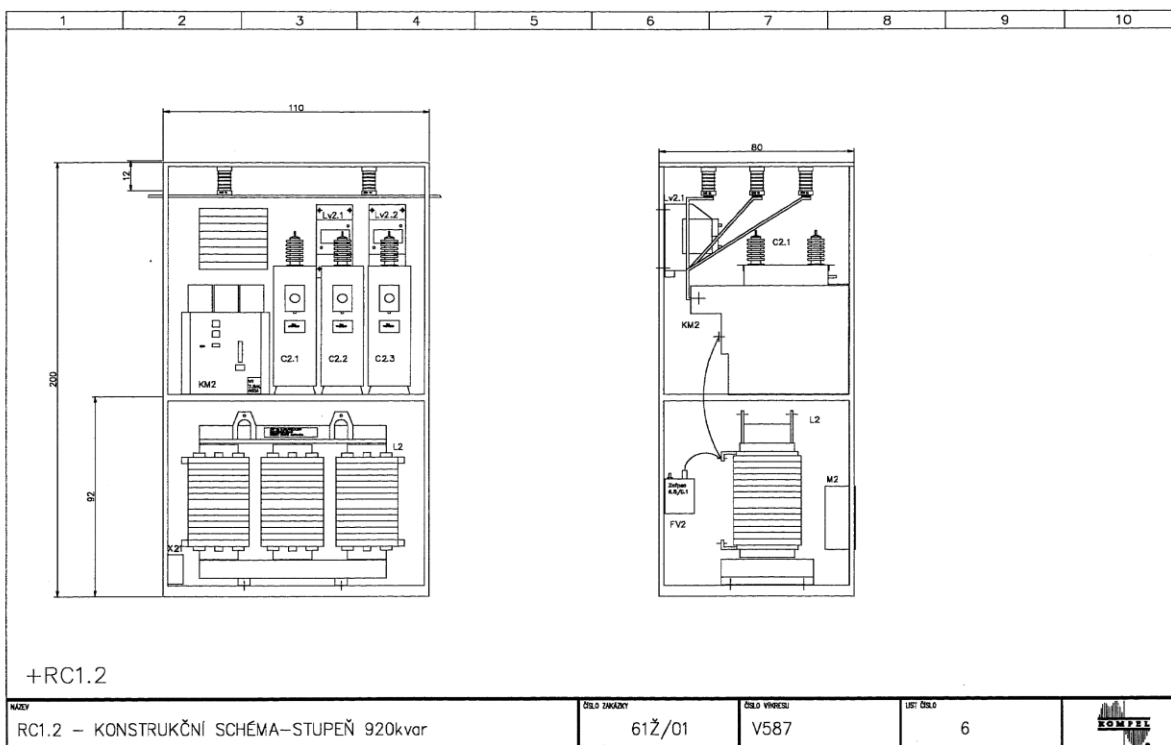
Obr.16. Sestava rozvaděče



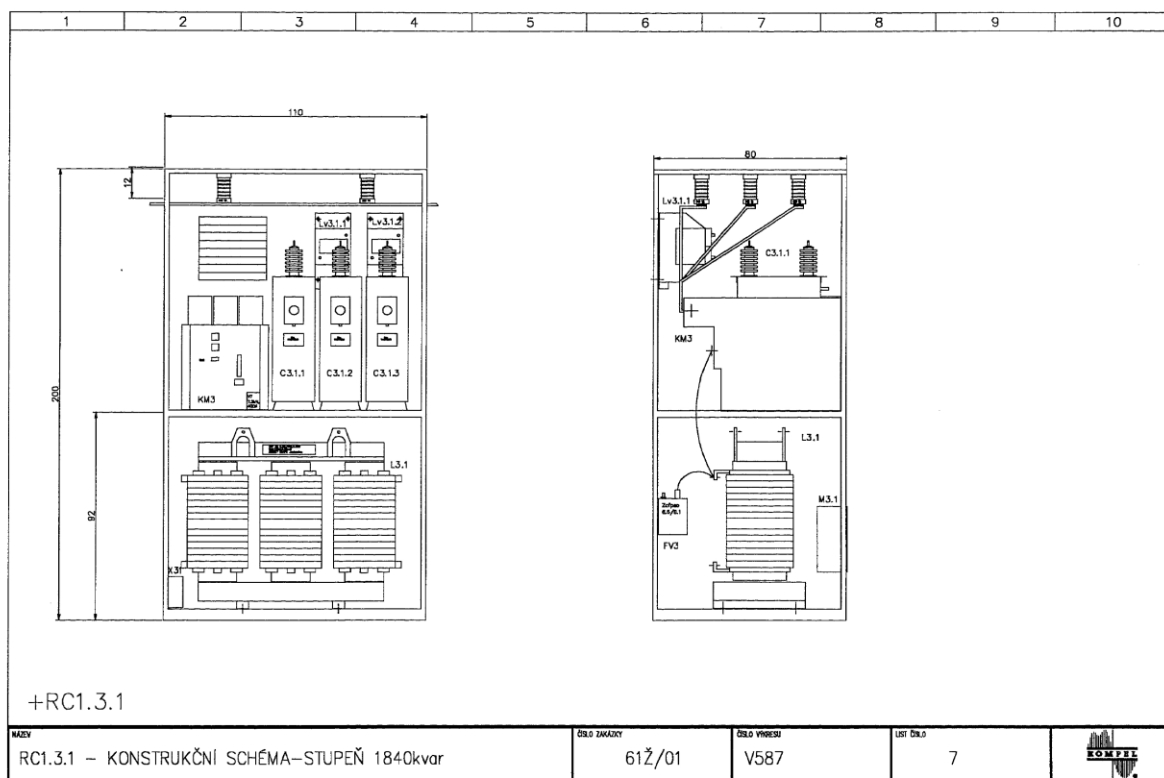
Obr.17. Pole 0



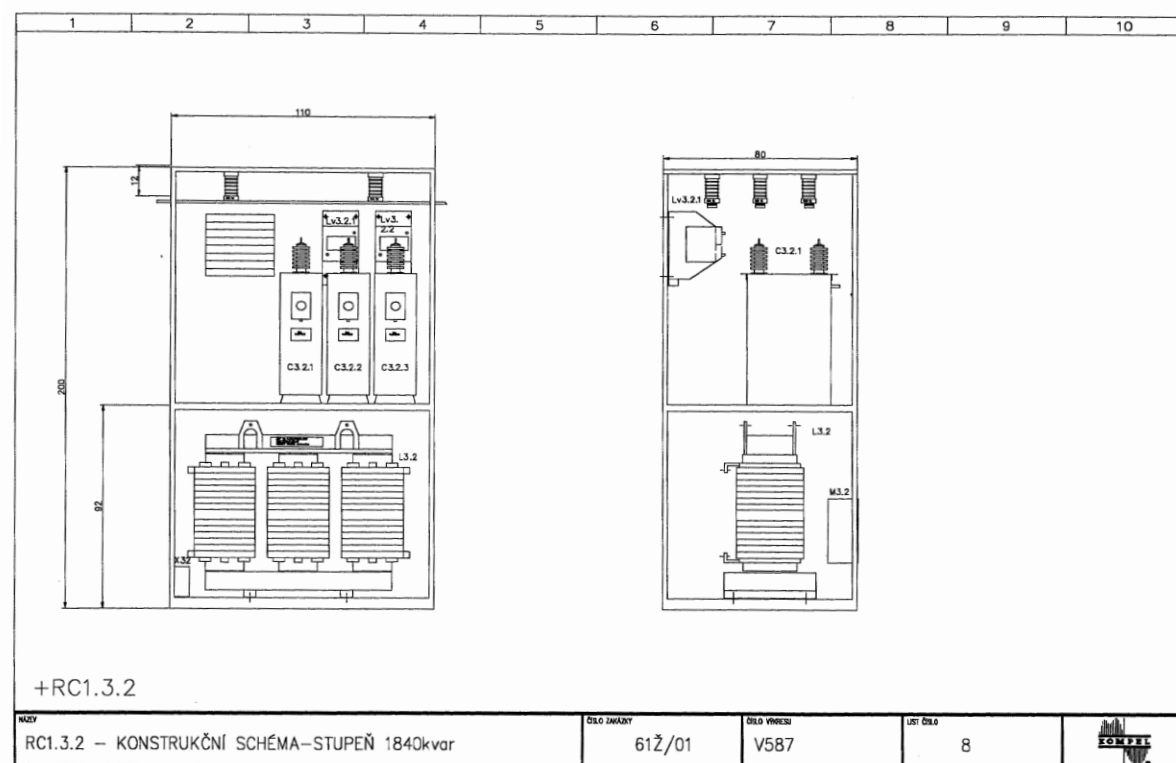
*Obr.18. Pole RC1.1*



*Obr.19. Pole RC1.2*



*Obr.20. Pole RC1.2*



*Obr.21. Pole RC1.2*

## 7. Závěr

V posledních letech došlo na kolesovém rypadle KU 800/20 k částečné modernizaci, při které byla provedena rekonstrukce špičky kola, kdy došlo k výměně nejen celé převodovky, ale i počtu a typu motorů spolu se zněnou jejich rozběhu použitím VN-softstartérů. Došlo též k výměně motorů převodovek hlavních pohybů stroje (výsun, otoč, zdvih) k jejichž řízení a regulaci je použito frekvenčních měničů s možností rekuperace. Tyto nové komponenty patří mezi nelineární spotřebiče, které "znečišťují" rozvodnou soustavu generování harmonických složek, které mohou způsobit přetížení kompenzačních kondenzátorů.

Doporučoval bych před realizací tohoto projektu provést na všech napěťových hladinách rozvodné soustavy rypadla komplexní měření vlivu vyšších harmonických na místní síť. Při samotném výběru kompenzačního zařízení se musí především zohlednit dynamické změny v odběru jalové energie, vhodně dimenzovat kabelová vedení spolu s výkonovými vypínači 6kV a nezapomenout respektovat kapacitní výkon přívodního kabelového vedení 35kV, které může způsobit překompenzování.

Ta to práce by mohla v budoucnu sloužit jako podkladový materiál při dalších jednáních o návrzích technického řešení způsobu kompenzace jalové energie na tomto kolesovém rypadle.



## Použitá literatura

BRAUNER Jiří, ŠINDLER Zdeněk - skriptum Elektrická část elektráren. Ostrava. 1987. 242 stran

SANTARIUS Pavel - Elektrické stanice a vedení. 2. vyd. VŠB-TU Ostrava, Ostrava. 2002. 212 stran  
ISBN 80-248-0175-2

TKOTZ Klaus a kol. - Příručka pro elektrotechniku. 2. vyd. EUROPA-SOBOTÁLES, Praha 2006.  
623 stran, ISBN 80-86706-13-3

HOTOVÝ Albert, LANG Pavel - Projektování, výstavba a provoz uhelných lomů. SNTL, Praha 1967.  
315 stran, 04-404-67

DOČEKAL Antonín, BOUČEK Stanislav - skriptum Elektrárny II. přednášky. ČVUT, Praha 1995

HELEBRANT František, HOJDAR Josef, GONDEK Horst. Povrchové dobývací stroje. 1. vyd. VŠB,  
Ostrava 1993. 171 stran, ISBN 80-7078-168-8

podnikové normy :

[1] NPN 31-1-12(10) elektrická zařízení uhelných lomů a úpraven – část 1

[2] NPN 31-7-702(03) elektrická zařízení uhelných lomů a úpraven – část 7

dokumentace :

Škoda Plzeň, Technická dokumentace synchronního kompenzátoru 1HKY 5658/6

Kompel, Technická dokumentace Kompenzačního rozváděče FKR6/3220-3-R

Unex Uničov, Technická dokumentace kolesového rypadla KU800/20

[4] Přenos a rozvod elektrické energie, přednáška GURECKÝ J. VŠB, Ostrava

internet :

[3] Severočeské doly a.s., dostupné z : <http://www.sdas.cz/showdoc.do?docid=527>

[5] Vysoké učení technické v Brně, dostupné z :

[http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=40148](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=40148)

[6] Emcos s.r.o., dostupné z : <http://www.volny.cz/molnarm/pdf/kompenzace.pdf>

[7] Emgzlin s.r.o., dostupné z [http://www.emgzlin.cz/menu/kompenzace-o\\_kompenzaci.html](http://www.emgzlin.cz/menu/kompenzace-o_kompenzaci.html)

[8] Kompel s.r.o., dostupné z : <http://www.kompel.cz/vn-kompenzace/>

## Seznam obrázků

- Obr.1. Kolesové rypadlo KU800/20
- Obr. 2. Konstrukce kolesového rypadla KU800/20
- Obr. 3. Principiální přehledové schéma napájení technologických zařízení
- Obr. 4. Rozsah těžební činnosti
- Obr.5. Posun napětí a proudu induktivních spotřebičů
- Obr.6. Posun napětí a proudu kapacitních spotřebičů
- Obr.7. Snížení fázového posunu
- Obr.8. Schéma paralelní kompenzace
- Obr.9. Fázorový diagram paralelní kompenzace
- Obr.10. Příklad individuální kompenzace
- Obr.11. Příklad skupinové kompenzace
- Obr.12. Příklad centrální kompenzace
- Obr.13. Kompenzační kondenzátory NN
- Obr.14. Kompenzační kondenzátory VN
- Obr. 15. V-křivky synchronního stroje
- Obr.16. Sestava rozvaděče
- Obr.17. Pole 0
- Obr.18. Pole RC1.1
- Obr.19. Pole RC1.2
- Obr.20. Pole RC1.2
- Obr.21. Pole RC1.2